

УДК: 621.3

Т.О. Терещенко, д.-р. техн. наук, **Ю.С. Ямненко**, д.-р. техн. наук, **Ю.В. Хохлов**, канд. техн. наук
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
вул. Політехнічна, 16, корпус 12, Київ, 0305, Україна.

Підвищення завадостійкості передачі біотелеметричних даних

В статті наводиться архітектура системи передачі даних біотелеметричної мережі, досліджено особливості та способи зв'язку між ієрархічними рівнями системи та запропоновано метод підвищення завадостійкості передачі. Робота сприятиме підвищенню ефективності моніторингу фізіологічних показників людини у надзвичайних ситуаціях, під час бойових дій та в період післястресової адаптації. Библ. 8, рис. 4.

Ключові слова: сенсорна мережа; біотелеметрія; завадостійкість; зв'язок.

Вступ

Задача ефективного моніторингу та контролю біомедичних параметрів, що характеризують фізіологічний стан людини, набуває особливої актуальності в умовах, коли вирішальним фактором стає час прийняття рішення про наявну ситуацію та якнайшвидше вжиття необхідних заходів лікування та/або порятунку життя.

Вирішення цієї задачі створює передумови для своєчасного діагностування фізіологічного стану, покращення захисту і збереження життя людей, що опинилися в надзвичайних ситуаціях.

В теперішній час ведуться активні розробки по створенню нових засобів медичного забезпечення військових та рятувальників в умовах природних та техногенних катастроф з широким впровадженням та практичним використанням комп'ютерної техніки та інформаційних технологій. При цьому передбачається застосування модулів персонального контролю біологічних параметрів [8,1], персональних електронних медальйонів з базою даних про анамнез (група крові, перенесені захворювання, поранення, операції, рентгенівські знімки)[1], інфрачервоних датчиків ідентифікації "свій-чужий"[8]. Розшифрування, аналіз та передавання біометричної інформації, особливо в динамічному режимі та за наявності різноманітних перешкод, є трудомісткою і складною задачею.

Крім того, загальною умовою всіх способів є забезпечення надійного передавання даних в умовах завад, що створюються спеціалізовани-

ми засобами зв'язку, роботою електронних систем та іншими спотвореннями сигналів, що можуть виникати в умовах надзвичайних ситуацій.

Застосування нових спектральних перетворень для збору, кодування/декодування, обробки, аналізу, завадозахищеної передачі біотелеметричної інформації дозволяє підвищити завадостійкість та швидкість прийняття рішень, а отже, підвищити ефективність моніторингу та контролю фізіологічного стану людини та надання своєчасної допомоги. При цьому забезпечується значне підвищення швидкодії обробки телеметричних даних у порівнянні з традиційними методами аналізу, надійне передавання в умовах завад та застосування знань медичних експертів.

Архітектура біотелеметричної мережі

Архітектура біотелеметричної мережі передбачає чотири рівня ієрархії (рис 1.). На верхньому рівні знаходяться центральні модулі телеметрії (ЦМТ), що мають функції збору, відображення та архівування телеметричних даних. Модуль телеметрії підрозділу (МТП) знаходиться на другому рівні і забезпечує збір даних від персональних телеметричних модулів (ПТМ) та ретрансляцію їх до ЦМТ. ПТМ знаходиться в безпосередній близькості до людини і отримує дані з біосенсорів, що закріплені на її тілі.

Згідно ідеології сенсорних мереж, в архітектурі біотелеметричної мережі використовується принцип розподіленої обробки даних. На кожному з чотирьох рівнів відбувається аналіз, стикування даних та відкидання помилкових вимірювань.

Біосенсор складається з датчика, мікроконтролера та схеми зв'язку. Аналоговий сигнал з датчику одразу оцифровується, мікроконтролер виконує первинну обробку і передає дані до ПТМ.

ПТМ агрегує дані з біосенсорів, передає їх до МТП та візуалізує основні параметри на вбудованому екрані.

Головною задачею МТП є ретрансляція біотелеметричних даних від МТП до ЦМТ. Додат-

ково ПТМ може ретранслювати біотелеметрію від інших ПТМ, якщо останні не в змозі зв'язатися з ЦМТ безпосередньо.

ЦМТ розміщується в командному пункті, отримує дані від МТП, візуалізує та архівує їх.

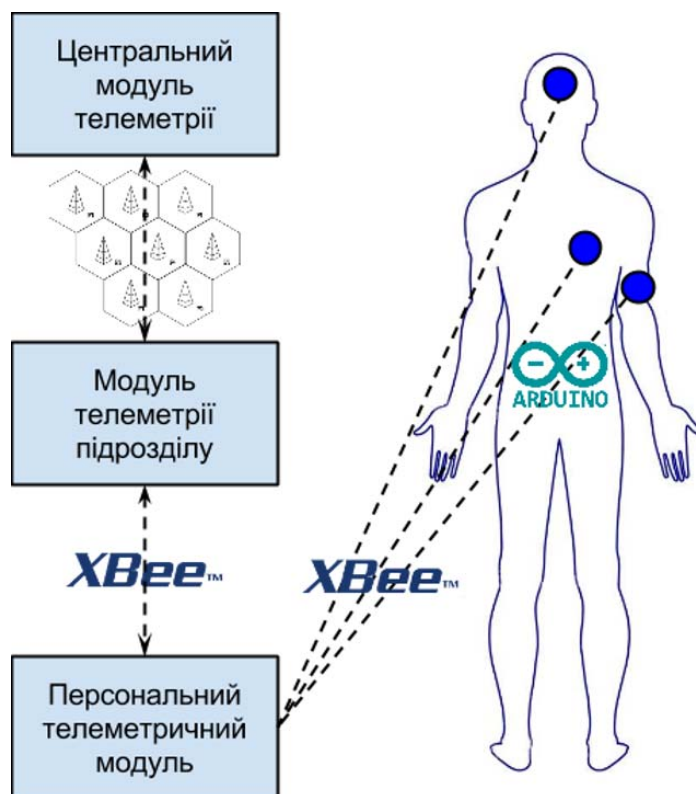


Рис.1. Зображення архітектури біотелеметричної мережі

Вид та технологію зв'язку між модулями біотелеметричної мережі потрібно обирати в залежності від функціонального призначення модулів, місця їх розташування, умов використання. Система повинна впевнено працювати навіть у надзвичайних ситуаціях, тому важливо забезпечити стійкість до впливу засобів радіоелектронної боротьби.

В системі, що пропонується, можна виділити декілька окремих ділянок зв'язку:

- Ділянка "Біосенсор - ПТМ"
- Ділянка "ПТМ - МТП"
- Ділянка "МТП - ЦМТ"

Кожна ділянка потребує особливого підходу.

Розглянемо зв'язок між біосенсором та ПТМ. В залежності від особливостей використання передбачається два варіанти зв'язку: дротовий та бездротовий радіозв'язок.

Для організації дротового зв'язку пропонується використати технологію *1-wire* [2], яка пот-

ребує лише двох проводів, по яким окрім інформаційних сигналів також подається живлення. Перевагою такого способу є завадостійкість та відсутність необхідності у автономному живленні біосенсорів. Головним недоліком є необхідність у прокладенні дротів від ПТМ до біосенсорів, що беззаперечно призводить до незручностей при використанні людьми, що мають активно діяти. Тому такий тип зв'язку доцільно використовувати в стаціонарних умовах, шпиталях, тощо.

Використання бездротового зв'язку між сенсорами та ПТМ дозволяє людині вільно рухатись, проте потребує періодичної зарядки батарей. Реалізувати бездротовий зв'язок на цій ділянці пропонується, приміром, за допомогою модулів на базі мікросхем типу *nRF2401* [4] або модулів сімейства *XBee* [5]. Ці модулі є енергоефективними та дозволяють реалізувати цифровий радіозв'язок.

Зв'язок між ПТМ та МТП є бездротовим. Пропонується використати ту ж саму технологію, що і для ділянки "Біосенсор - ПТМ", але обрати більш потужні варіанти прийомопередавачів.

З'єднати МТП та ЦМТ пропонується використовуючи мережу стільникового зв'язку по каналу *EDGE/GPRS*. Коли використання мережі стільникового зв'язку неможливе, повинна бути використана окрема спеціально розроблена система для цього випадку.

Підвищити завадостійкість передачі біометричних даних на ділянках "Біосенсор - ПТМ" та "ПТМ - МТП" можливо на базі спеціально розробленої технології завадостійкого зв'язку [3].

Підвищення завадостійкості бездротового зв'язку

Відома технологія завадостійкого зв'язку на базі розширення спектру способом *DSSS* (*DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum*) з використанням ортогональних псевдовипадкових послідовностей (ПВП) [6,7]. Сигнал на приймальній стороні можна виділити, тільки знаючи ПВП для зворотного перетворення. При цьому одночасно в широкій смузі частот можна передавати і приймати досить багато сигналів, які не заважають один одному.

В якості ортогонального набору ПВП розглянемо застосування базисних функцій перетворення в орієнтованому базисі (ОБ-перетворення) [3] в узгоджених цифрових фільтрах (УФ).

Нехай імпульсна характеристика фільтра являє собою деяку базисну функцію зворотного ОБ-перетворення $\varphi_a(v, x)$ при $v=p$, а передається одна з функцій прямого перетворення. Матриця базисних функцій прямого ОБ-перетворення містить лише два значення (-2 і 1) і може бути передана за допомогою відомих методів модуляції, наприклад фазової маніпуляції.

Фільтр, узгоджений з однією з базисних функцій ОБ-перетворення $\varphi_r(p, x)$, пропускає функцію $\varphi_d(p, \theta x)$, (де θ – т-ічно протилежне число x)

без спотворень і не пропускає жодної іншої функції $\varphi_d(v, x)$, тобто є оптимальним фільтром, що виділяє. При будь-якій іншій формі вхідного впливу узгоджений фільтр є оптимальним фільтром, що виділяє, і максимізує відношення рівня сигналу до середньоквадратичного рівня шуму [3].

Блок-схема такої системи зображена на рис. 2 і містить блок управління генераторами ОБ-функцій, генератори ОБ-функцій, модулятор і демодулятор, N узгоджених фільтрів і блок аналізу вихідних сигналів узгоджених фільтрів.

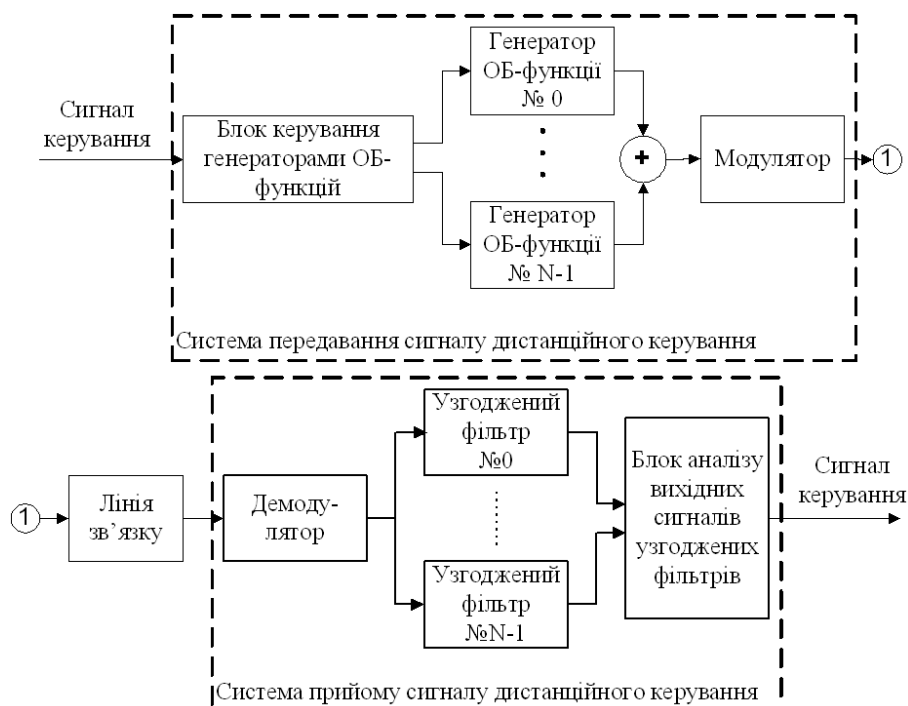


Рис. 2. Блок-схема одноканальної системи передачі сигналів

Нульова базисна функція ОБ-перетворення для передачі однієї з команд системи управління не використовується, оскільки ця функція складається з одних одиниць. Однак, нульова базисна функція ОБ-перетворення може бути використана в службових цілях, наприклад, для передачі синхронізуючого сигналу.

Зауважимо, що базисні функції прямого і зворотного перетворень приймають лише цілі значення, а матриця зворотного перетворення містить близько 1/3 нульових елементів. Ця обставина призводить до того, що відносна трудомісткість ОБ-перетворення становить 44,3-95% від відносної трудомісткості перетворення Уолша при порівнянних значеннях довжин інтервалів визначення N . Це також дозволяє будувати УФ на основі цілочисельних процесорів замість процесорів цифрової обробки сигналів або процесорів з блоком арифметичного сопроцесора. Обсяг необхідної пам'яті для зберігання цілочисельних матриць перетворення менше, ніж у випадку зберігання матриць дробових чисел. Обчислювальні операції тільки з цілими числами також підвищують точність обробки сигналів.

Порівняльне моделювання систем передачі з розширенням спектру

Метою моделювання є кількісна оцінка рівня завадостійкості систем без розширення і з розширенням спектру на базі використання базисних функцій перетворення Уолша і ОБ-перетворення. Кількісну оцінку завадостійкості систем будемо проводити шляхом порівняння величини ймовірності появи бітової помилки (BER – *Bit Error Rate*) при моделюванні прийому масиву даних об'ємом в 27 000 біт, які представляють собою телеметричні дані. Обраний об-

сяг даних, передавання яких моделювалася, дозволяє зібрати статистичні дані, достатні для розрахунку величини BER з точністю близькою до 10^{-4} . Величина BER визначалася шляхом математичного моделювання для значень відношення сигнал/шум (SNR – *Signal to Noise Ratio*) в лінії зв'язку в межах $-20...20$ дБ із кроком у 2,5 дБ.

Параметри математичної моделі обиралися з урахуванням можливостей сучасної елементної бази: метод модуляції – двійкова частотна маніпуляція ($BFSK$ – *Binary Frequency Shift Keying*); швидкість бітового потоку на вході модулятора 2400 біт/с, центральна частота частотної маніпуляції 132.450 кГц, девіація частот логічної "1" та "0" дорівнює 1200 Гц.

На рис. 3 зображена узагальнена блок-схема математичної моделі, за допомогою якої проводилася оцінка завадостійкості розглянутих систем. На рисунку прийнято умовні позначення: БК – блок кодування, БМ – блок модулятора, ЛЗ – лінія зв'язку, БДМ – блок демодулятора (когерентна демодуляція), БДК – блок декодування, БР BER – блок розрахунку BER . Блок БР BER шляхом порівняння сигналів, що надходять на його вхід, виявляє помилки, підраховує їх кількість і розраховує ймовірність появи помилки, виходячи із загальної кількості прийнятих біт і кількості знайдених помилок. Порівняння сигналів відбувається з урахуванням внесених каналом зв'язку часових затримок.

Блок ЛЗ призначений для моделювання лінії зв'язку. Оскільки лінія зв'язку в цій моделі вважається ідеальною, то блок ЛЗ не вносить амплітудних і фазових спотворень в сигнал, що проходить крізь нього. Вихідним сигналом блоку ЛЗ є сигнал, що являє собою суміш вхідного сигналу з Гаусівським шумом в пропорції, яка забезпечує задане значення SNR .

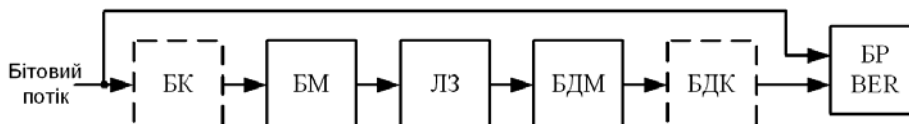


Рис. 3. Узагальнена блок-схема математичної моделі для підрахунку BER (блоки, зображені пунктиром, відсутні в моделі системи без розширення спектру)

На першому етапі було проведено моделювання системи, яка не використовує метод передачі з розширенням спектру. У цій системі бітовий потік надходить на вхід БМ без попереднього кодування (блок БК відсутній), а демодульований бітовий потік надходить відразу ж в

блок БР BER (блок БДК відсутній). Ефективна швидкість передачі R за відсутності додаткового кодування дорівнювала фізичній швидкості передачі R_{ch} , з якою працював модулятор і демодулятор:

$$R = R_{ch} = 2400 \text{ біт/с}.$$

Другим етапом було проведення моделювання системи, яка використовує для розширення спектру базисні функції перетворення Уолша. При моделюванні були обрані базисні функції перетворення Уолша при $N = 8$. Однією базисною функцією кодується три біти даних. Бітовий потік перед тим, як потрапити в модулятор, піддається кодуванню. Кодування полягає в заміні кожної наступної групи з трьох біт в бітовому потоці на одну з базисних функцій Уолша. Таким чином, ефективна швидкість передавання зменшувалась у $\frac{3}{8} = 0,375$ разів, $R = 0,375 \cdot R_{ch} = 900$ біт/с, а коефіцієнт розширення спектру:

$$G_p = \frac{R_{ch}}{R} = \frac{8}{3} = 2,667.$$

Декодування вихідного сигналу БДМ полягало в узгодженій фільтрації за допомогою УФ. На

третьому етапі було проведено моделювання системи, в якій використовувалося розширення спектру за допомогою базисних функцій ОБ-перетворення при $N=9$. Ефективна швидкість передавання зменшувалась у $\frac{3}{9} = 0,333$ разів, $R = 0,333 \cdot R_{ch} = 799,2$ біт/с, а коефіцієнт розширення спектру:

$$G_p = \frac{R_{ch}}{R} = \frac{9}{3} = 3.$$

При кодуванні замінювалася кожна наступна група з трьох біт в бітовому потоці на одну з базисних функцій ОБ-перетворення. Декодування проводилося аналогічно тому, як це робилося на другому етапі.

На рис. 4 наведено залежності величини BER від величини SNR для розглянутих випадків.

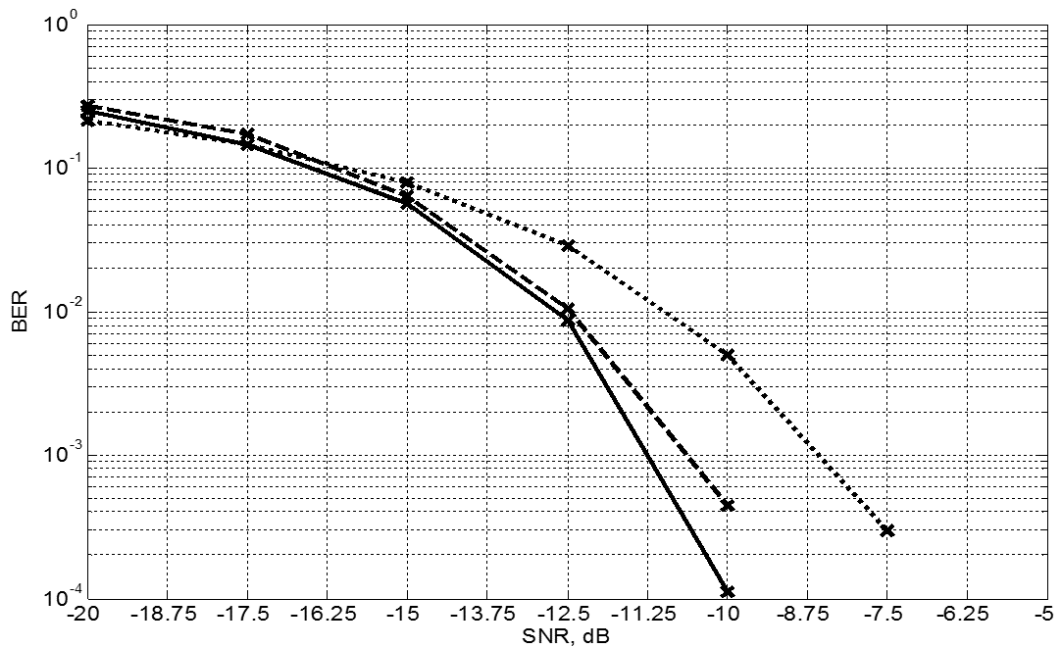


Рис. 4. Графік залежності величини BER від величини SNR (Гаусівський шум) для систем: без розширення спектру (точкова лінія), з розширенням спектру за допомогою базисних функцій Уолша (пунктирна лінія) і ОБ-перетворення (суцільна лінія)

Аналіз графіків, зображених на рис. 4, показав, що рівень завадостійкості систем з розширенням спектру значно перевищує рівень завадостійкості систем, які вказаний метод не використовують. Значення SNR , при якому ймовірність помилки наближається до нуля, в системах з розширенням спектру менше на 2,5-3 дБ, ніж в системах без розширення спектру.

Таким чином, використання методів розширення спектру дозволяє значно підвищити завадостійкість передавання інформації у біотелеметричній мережі, причому обчислювальна складність зменшується у випадку застосування базисних функцій спектрального перетворення дискретних функцій в орієнтованому базисі.

Висновки

1. Аналіз структури системи передачі біотелеметричних даних показав, що підвищити завадостійкість на ділянках “Біосенсор - ПТМ” та “ПТМ - МТП” можливо на базі спеціально розробленої технології завадостійкого зв'язку з розширенням спектру способом DSSS з використанням ортогональних функцій ОБ-перетворення.

2. Рівень завадостійкості пропонованої системи значно перевищує рівень завадостійкості традиційних систем – значення SNR , при якому ймовірність помилки наближається до нуля, менше на 2,5-3 дБ.

3. Використання базисних функцій ОБ-перетворення в якості ПВП має ряд додаткових переваг - менша трудомісткість обчислень (44,3-95% від відносної трудомісткості перетворення Уолша при порівнянних значеннях довжин інтервалів визначення N), можливість побудови УФ на основі цілочисельних процесорів, зменшення обсягу пам'яті, підвищення точності обробки.

Список використаних джерел

1. Васильева О. Новейшие технологии для экипировки солдат [Електронний ресурс] / Ольга Васильева // Редактор. – 2011. – Режим доступу до ресурсу: <http://army-news.ru/2011/09/novejshie-tehnologii-dlya-ekipirovki-soldat/>.
2. Двоспрямована шина зв'язку 1-Wire [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/1-Wire>.
3. Жуйков В.Я., Терещенко Т.А., Петергеря Ю.С. Преобразования дискретных сигналов на конечных интервалах в ориентированном базисе. – К.: Аверс, 2004. – 274 с.
4. Надмалопотужні бездротові рішення від Nordic Semiconductor [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4-GHz-RF/nRF2401A>.
5. Офіційний сайт технології XBee [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.digi.com/xbee/>.
6. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Гроза Е.Г. (пер. с англ.). – изд. 2-е, испр. – М.; СПб.; К.: Вильямс, 2003. – 2000 с.
7. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. Под ред. проф. В.Б. Пестрякова. – М.: Сов. радио, 1973.
8. Юферев С. Американские военные испытывают «умный» китель [Електронний ресурс] / Сергей Юферев // Редактор. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://army-news.ru/2013/02/amerikanskije-voennye-ispytyvayut-umnyj-kitel>.

Поступила в редакцию 20 февраля 2015 г.

УДК: 621.3

Т.А. Терещенко, д.-р. техн. наук, **Ю.С. Ямненко**, д.-р. техн. наук, **Ю.В. Хохлов**, канд. техн. наук
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
ул. Политехническая 16, корпус 12 г. Киев, 03056, Украина.

Повышение помехоустойчивости передачи биотелеметрических данных

В статье приводится архитектура системы передачи данных биотелеметрической сети, исследованы особенности и способы связи между иерархическими уровнями системы и предложен метод повышения помехоустойчивости передачи. Работа будет способствовать повышению эффективности мониторинга физиологических показателей человека в чрезвычайных ситуациях, во время боевых действий и в период послестрессовых адаптации. Библиограф. 8, рис. 4.

Ключевые слова: сенсорная сеть; биотелеметрия; помехоустойчивость; связь.

UDC: 621.3

T. Tereschenko, Dr.Sc., **J. Yamnenko**, Dr.Sc., **Yu. Khokhlov**, Ph.D.

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
Str. Polytechnique, 16, Kyiv, 0305, Ukraine.

Increasing of noise immunity of biotelemetry data transmission

Article deals with the system architecture of biotelemetry data network, peculiarities and ways of communication between its hierarchical levels and the method of transmission improve noise immunity. This research will improve effective monitoring of physiological parameters in human emergency during combat and after-stress adaptation. Reference 8, figures 4.

Keywords: *sensor network; biotelemetry; noise-immunity; communication.*

References

1. *Vasilieva, O.* (2011). Latest technology to equip soldiers. Retrieved from <http://army-news.ru/2011/09/novejshie-tehnologii-dlya-ekipirovki-soldat/>.
2. Bidirectional bus connection 1-Wire. (2015). Retrieved from <https://ru.wikipedia.org/wiki/1-Wire>.
3. *Zhuikov, V., Tereshchenko, O., & Petergerya, J.* (2004). Transformation of discrete signals on finite intervals in an oriented basis. Kiev: Avers.
4. Low power wireless solutions from Nordic Semiconductor - Retrieved from <https://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF2401A>.
5. The official website technology XBee - Retrieved from <http://www.digi.com/xbee/>.
6. *Sklar, B.* (2003). Digital Communications: Fundamentals and Applications. 2nd ed., Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall.
7. *Pestryakov, V.* (Ed.). (1973). Noise-signals in data transmission systems. Moscow: Sov. radio.
8. *Yuferev, S.* (2013). US military experience "smart" jacket. Retrieved from <http://army-news.ru/2013/02/amerikanskije-voennye-ispytyvayut-umnyj-kitel>.